

# ESTABLECIMIENTO DE UNA RED GEODÉSICA EN TEGUCIGALPA (HONDURAS) MEDIANTE TECNOLOGÍAS GPS

Joaquín Bosque Sendra, José Antonio Malpica Velasco, Francisco Maza Vázquez y Guadalupe Rodríguez Díaz, M<sup>a</sup> Cristina Pineda de Carías, Yeny M. Castellanos, Mauricio González, Jimmy Pavón, Wenceslao Plata Rocha, Oscar Andrés Meza, Antonio B. Carías Arias, María Luisa Soriano Sanz, Juan Luis Bermúdez González

Universidad de Alcalá, Universidad Nacional Autónoma de Honduras

antoniocarias@gmail.com

## Resumen

Una red geodésica constituye uno de los cimientos más importantes sobre los que se apoya toda una serie de disciplinas, tanto científicas como técnicas. Queda constituida por un conjunto de puntos perfectamente localizados en el terreno y materializados a base de señales adecuadas o monumentos, entre los que se han efectuado observaciones geodésicas con la finalidad de obtener sus coordenadas, su precisión y confiabilidad en términos relativos y absolutos respecto de un sistema de referencia establecido, sirviendo al mismo tiempo como base de los proyectos de desarrollo de un país.

El proyecto se encuadra en el objetivo de "desarrollo y gestión urbana", en los sub-apartados: planificación de la utilización del suelo y sistemas de información geográfica.

**Palabras clave:** Red geodésica, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), cartografía.

## Abstract

A geodetic network is one of the most important foundation on which rests a range of both scientific and technical disciplines, and is constituted by a set of points superbly located on the ground-based materialized monuments, including geodetic observations have been made in order to obtain their coordinates, their accuracy and reliability in absolute and relative terms with respect to a reference set, while serving as a basis for development projects in a country.

The project is part of the objective "Urban development and management" in the sub-sections: planning, land use, geographic information systems.

**Keywords:** Geodetic network, Global Positioning System (GPS), mapping.

## Introducción

Honduras y más en concreto su capital Tegucigalpa, no cuenta con una red geodésica oficial suficientemente densificada o fijada mediante tecnologías de GPS (Sistema de Posicionamiento Global), aun siendo este un recurso de vital importancia para el desarrollo económico de cualquier región.

Mediante técnicas de medición y post procesamiento adecuadas, se puede lograr un posicionamiento con exactitud de pocos centímetros. Esta capacidad de GPS es aprovechada para el establecimiento del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), una de cuyas aplicaciones es unificar las referencias geométricas de los países a escala global con una exactitud centimétrica. Incluso con una metodología apropiada para el análisis de los residuos de ajuste de las observaciones GPS se puede aumentar la exactitud de los resultados.

Una red geodésica constituye uno de los cimientos más importantes sobre los que se apoya toda una serie de disciplinas, tanto científicas como técnicas. Queda constituida por un conjunto de puntos perfectamente localizados en el terreno y materializados a base de señales adecuadas o monumentos, entre los que se han efectuado observaciones geodésicas con la finalidad de obtener sus coordenadas, su precisión y confiabilidad en términos relativos y absolutos respecto de un sistema de referencia establecido, sirviendo al mismo tiempo como base de los proyectos de desarrollo de un país.

El proyecto se encuadra en el objetivo de "desarrollo y gestión urbana", en los sub-apartados: planificación de la utilización del suelo y sistemas de información geográfica.

En este contexto, la implantación de la red geodésica de Tegucigalpa será de vital importancia en la gestión y ordenación del territorio, así como en aplicaciones como la geodinámica, las comunicaciones, astronomía, topografía, fotogrametría, teledetección y SIG, con aplicación directa en los programas de desarrollo que a continuación se enumeran:

- **Actualización de la cartografía local y nacional:** Permitirá lograr una cartografía local y nacional de alto valor y precisión y servirá de apoyo en proyectos de levantamientos fotogramétricos y georreferenciación de imágenes de satélite.
- **Catastro urbano y rural:** La ubicación geoespacial de los predios rústicos y urbanos permitirá la depuración de los registros catastrales y la integración de una cartografía confiable, asimismo también permitirá la incorporación constante de las áreas de crecimiento urbano en la ciudad de Tegucigalpa, utilizando los levantamientos topográficos y geodésicos para estos fines.
- **Tenencia de la tierra:** El posicionamiento geográfico dará seguridad jurídica a la propiedad y fomentará la inversión local y extranjera en el municipio del Distrito Central.
- **Ordenamiento territorial:** Esta red geodésica permitirá definir los límites territoriales para determinar la dotación de servicios básicos y pago de impuestos, fomentando las interrelaciones entre caseríos y comunidades. Con esto se podrán resolver los derechos constitucionales o de propiedad de los habitantes en las áreas de frontera de las aldeas; ayudará a precisar las estadísticas regionales y permitirá el ahorro de recursos, la integración y delimitación de áreas protegidas; frenará el crecimiento desordenado de la ciudad e impulsará las áreas de crecimiento urbano como unidades habitacionales y fraccionamientos en una cartografía de alto valor para la adecuación y generación de planes de desarrollo urbano y rural, dentro del municipio y a posteriori, a nivel nacional, etc.
- **Seguridad pública:** Permitirá la utilización de cartografía confiable para el mapeo de zonas delictivas con el establecimiento de módulos estratégicos y patrullajes dirigidos para la prevención y el control de eventualidades.

- **Gestión de riesgos:** Ubicación exacta de las zonas de alto riesgo y seguimiento de fenómenos naturales para medidas de prevención y respuesta o evacuación del factor humano.
- **Apoyo a la red vial municipal:** La conformación de mapas de carreteras con la ubicación exacta permitirá la ampliación de la red vial municipal georreferenciada, además del control de desplazamiento de vehículos de carga y pasaje con el apoyo de receptores GPS.
- **Saneamiento básico e infraestructura:** Permitirá la georreferenciación de hospitales, centros de salud, escuelas, sistemas de agua potable, electricidad, etc., para la dotación de servicios y recursos de forma planificada dentro del municipio.

En definitiva, el establecimiento de esta red geodésica GPS en Tegucigalpa y su enlace con las redes oficiales de Centroamérica servirá para el desarrollo de proyectos comprometidos con la generación y utilización de información georreferenciada en la región, tanto a nivel nacional como internacional. La red GPS proporcionará el control básico esencial para el desarrollo de proyectos de ingeniería, catastro, cartografía, proyectos forestales, agrícolas, mineros, educativos, demarcación de fronteras nacionales estatales e internacionales, control de aeropuertos, represas hidroeléctricas, levantamientos batimétricos, proyectos científicos, etc.

Asimismo, dará respuesta al programa de reconstrucción en América Central originado por el huracán Mitch. En este sentido, el Servicio Geodésico Nacional de los Estados Unidos de América (NGS, año 1999) encargó el desarrollo de un marco geodésico para la navegación terrestre, marítima y aérea, trabajos de topografía, cartografía, catálogo o inventario de recursos naturales, levantamientos de ingeniería, catastro y aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)<sup>1</sup>.

El proyecto que se presenta ha sido posible gracias a la financiación otorgada por el Instituto de la Propiedad y la comunidad de Madrid. Su aportación económica ha resultado decisiva para el buen funcionamiento y desarrollo del referido proyecto.

1 Puede consultarse en: <http://www.ngs.noaa.gov/PROJECTS/Mitch/plan112399.htm>

## Metodología

Para la construcción de la red geodésica ha sido necesario llevar una secuencia operativa que garantice que el trabajo de campo y el procesamiento de las mediciones realizadas cumplan con los requerimientos de precisión exigidos, para lo cual se realizó el siguiente proceso metodológico: anteproyecto, diseño y criterios de selección de vértices, reconocimiento del terreno, clasificación y monumentación, observaciones de campo, procesamiento de las mediciones, cálculo y ajuste, y resultados.

### 2.1.- Criterios de selección de vértices propuestos y reconocimiento sobre el terreno para su presencia en la red GPS

La etapa de diseño consistió en el establecimiento de las condiciones geométricas, técnicas y de fiabilidad que permitieron la elaboración de un anteproyecto base para realizar un levantamiento dado, teniendo en cuenta como factor determinante la orografía complicada de la ciudad. Fue destinado para satisfacer una determinada necesidad, tratando de que sus vértices cumplan con los siguientes requisitos:

- Que gocen de una configuración geométrica adecuada,
- que la distancia entre los mismos sea homogénea,
- que estén ubicados en zonas de fácil acceso,
- que se sitúen en zonas geológicamente estables,
- que tengan un horizonte que se encuentre lo mínimo posible obstruido, y
- que su situación tenga la menor interferencia posible de líneas de alta tensión, edificios, muros, etc.



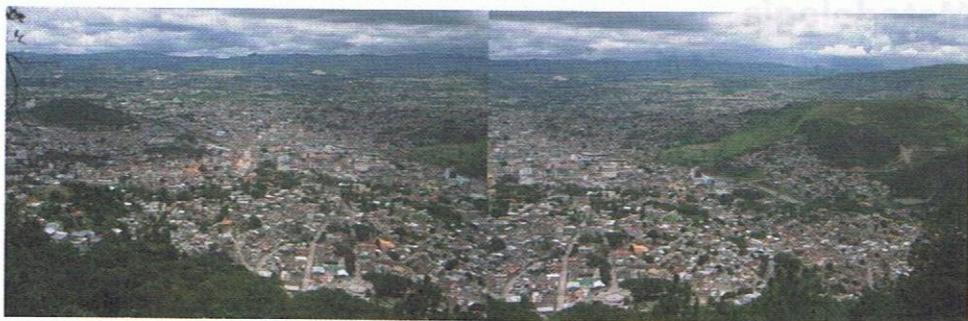


Figura 1.- Imágenes de Tegucigalpa tomadas desde el cerro El Picacho. Fotos: Antonio Carías<sup>2</sup>

Una vez diseñada la red GPS se llevó a cabo un reconocimiento de campo con el fin de verificar los vértices colocados sobre la cartografía.



Figura 2.- Primera red geodésica proyectada

En esta etapa, se verificó la idoneidad de la ubicación de los vértices y al no resultar el mejor sitio para su construcción se buscaron sobre el terreno otras alternativas para una mejor ubicación. Llevado a cabo el reconocimiento de campo y verificada la ubicación y reubicación de los vértices se tuvo formado el proyecto definitivo de la red GPS.

<sup>2</sup> Todas las fotografías del artículo son responsabilidad del autor.

Para realizar el reconocimiento se contó con una brigada formada por personal del Instituto de la Propiedad de Honduras y por alumnos de la segunda promoción de la Maestría y Gestión del Territorio que se imparte desde la Facultad de Ciencias Espaciales de la Universidad Autónoma de Honduras. Sus responsabilidades fueron:

- a) Comprobación sobre el terreno de los sitios adecuados para el establecimiento de las marcas permanentes o hitos.
- b) Comprobación de las condiciones de observación en cada sitio y especificación, en su caso, de las plataformas elevadas de observación.
- c) Elaboración de los croquis y reseñas, descripción e itinerarios preliminares de los puntos.
- d) Descripción preliminar con designación del punto o vértice.
- e) Información de las características geográficas locales del sitio y del paisaje circundante, con énfasis sobre los aspectos de ubicación regional y direcciones para llegar al sitio.
- f) Fotografías de cada uno de los vértices.
- g) Otro tipo de información que pudiera afectar el desarrollo de los trabajos de observación.

El criterio seguido para el establecimiento de los vértices GPS está basado en una distribución geométrica apropiada para asegurar el recubrimiento local, de forma tal que cualquier punto ubicado dentro del casco urbano de Tegucigalpa cuente con la información de al menos dos estaciones de la red. Para tales efectos, se determinó un radio de cubrimiento de tres kilómetros por estación, completando un total de veintidós vértices.

## 2.2 Criterios de evaluación de vértices propuestos

Se elaboró una ficha informativa por la monografía de cada uno de los vértices propuestos, calificando con ello las fichas ya elaboradas.

Finalmente, se realizó el diseño final de la red, como se expresa en el mapa que se expone a continuación. En él además se incluyen los días de observación.

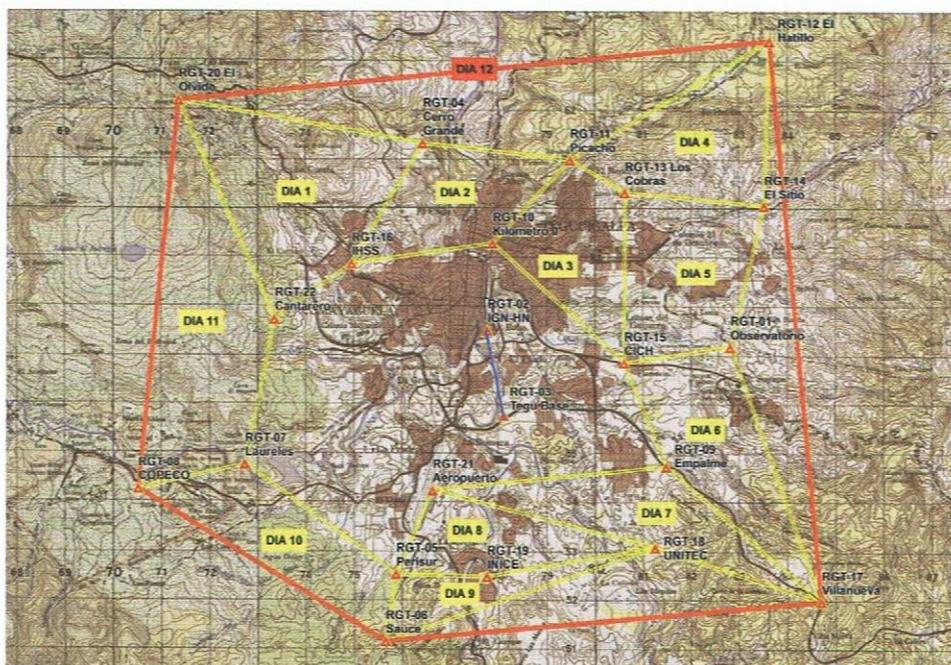


Figura 3.- Diseño definitivo de la red geodésica GPS de Tegucigalpa, con detalle de los días de observación

Dentro de las fichas se contenía una ponderación con un valor de uno (1) a tres (3), en donde los valores fueron:

- 1: bueno
- 2: regular
- 3: malo

Esta ponderación se hizo teniendo en cuenta aspectos como:

- Cercanía entre puntos
- Accesibilidad
- Visibilidad
- Interferencias o ubicación de antenas
- Ubicación estratégica (estabilidad y seguridad del terreno).

### 2.3.- Señalización y monumentación

#### Señalización:

Se utilizaron tres tipos de señalización:

- Señales existentes de redes anteriores bien señalizadas, que se han incluido en la red.



Figura 4.- Señal perteneciente al vértice del observatorio construida en la campaña geodésica de EE.UU. del año 1994

- El Instituto de la Propiedad dispone y habitualmente utiliza clavos de aluminio de unos 9 cm de tamaño por cabeza, sobre la que encuentra grabado una marca central de puntería, el nombre del vértice, el año de observación, Instituto Geográfico Nacional, Honduras C.A., y la prohibición de destruir la señal. A este tipo de señal, se le ha colocado una placa anexa de aluminio, donde se han grabado las entidades colaboradoras, además del número identificativo del vértice en la red, como se puede observar en la siguiente imagen:



Figura 5.- Clavo de aluminio grabado prototipo del IP

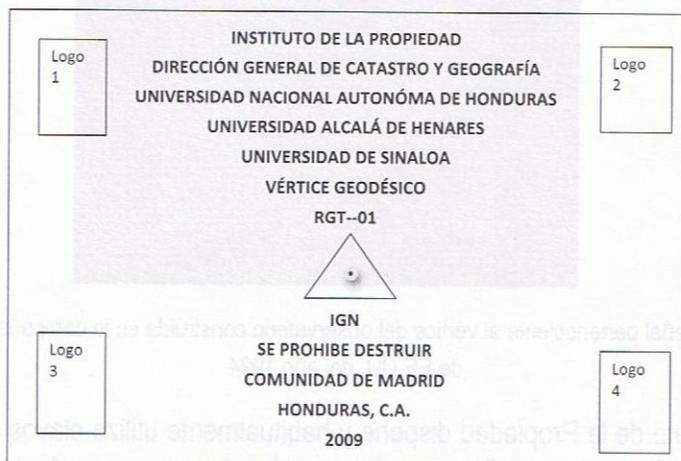


Figura 6.- Vértice COPECO, con clavo del IP y placa identificativa

- Clavos de aluminio con un nuevo diseño, similares a los del IP, de tamaño de cabeza de aproximadamente 9 cm., sobre la que se grabó todos los datos anteriormente indicados, sin necesidad de colocar la placa.



Figura 7.- Vértice observatorio, con clavo de nuevo diseño

## Monumentación:

Cuando se decidió la ubicación de cada uno de los vértices geodésicos de la red, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

1. Un terreno accesible para aplicar nivelación diferencial.
2. Que no existieran señales de interferencia.
3. Que no hubieran obstrucciones más altas de diez grados con el horizonte.
4. Que no estuviera cerca de construcciones con superficies reflectivas (metal o agua).
5. Que fuese un área segura y preferiblemente en terreno plano.

Además de los condicionantes técnicos, se tuvo en cuenta que para conseguir la perdurabilidad de las señales en el terreno y evitar posibles actos vandálicos, una buena medida era la colocación de las mismas en recintos o parcelas pertenecientes a instituciones gubernamentales o municipales, a las que se les solicitó el oportuno permiso y consentimiento, como es el caso de los vértices del Comité Permanente de Contingencia (COPECO), del Instituto Hondureño de Seguridad Social (IHSS), de la Universidad Tecnológica (UNITEC), etc.



Figura 8.- Vértice del IHSS, en la azotea del edificio, acceso con escalera

## Monumentación:

La monumentación es un proceso que se realiza para que el proyecto sea permanente en el tiempo, perdurable y estable. Se utilizaron dos métodos:

- Se aprovecharon las rocas naturales y las localizaciones estables de hormigón para perforar y posteriormente situar el clavo, recibéndolo con cemento.



Figura 9.- Trabajos de monumentación

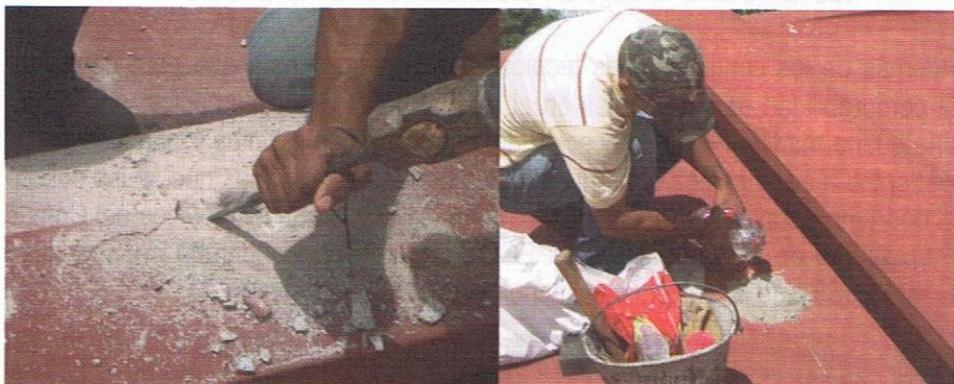


Figura 10.- Trabajos de monumentación

- Los clavos que fueron monumentados con un encofrado se instalaron con concreto hidráulico en una proporción adecuada. Se hicieron con materiales pétreos, libres de suciedades y de material arcilloso. En la parte superior, se colocó un disco metálico y una placa conmemorativa al proyecto.



Figura 11.- Trabajos de monumentación

## 2.4. Placa KM-0

En algunas ciudades del mundo se ha definido un punto de referencia como inicio a la descripción y medición de diferentes proyectos (carreteras, nivelaciones, mapas, etc.). Normalmente se encuentra ubicado en el parque central de cada país.

En el caso de Tegucigalpa, en un principio ese punto coincidía con el banco de nivel A-10 al lado de la estatua ecuestre de Francisco Morazán, ubicada en el Parque Central de Tegucigalpa, pero con la remodelación del parque el vértice fue movido a otro lugar con la nomenclatura A-10-1.



Figura 12.- Parque Central de Tegucigalpa

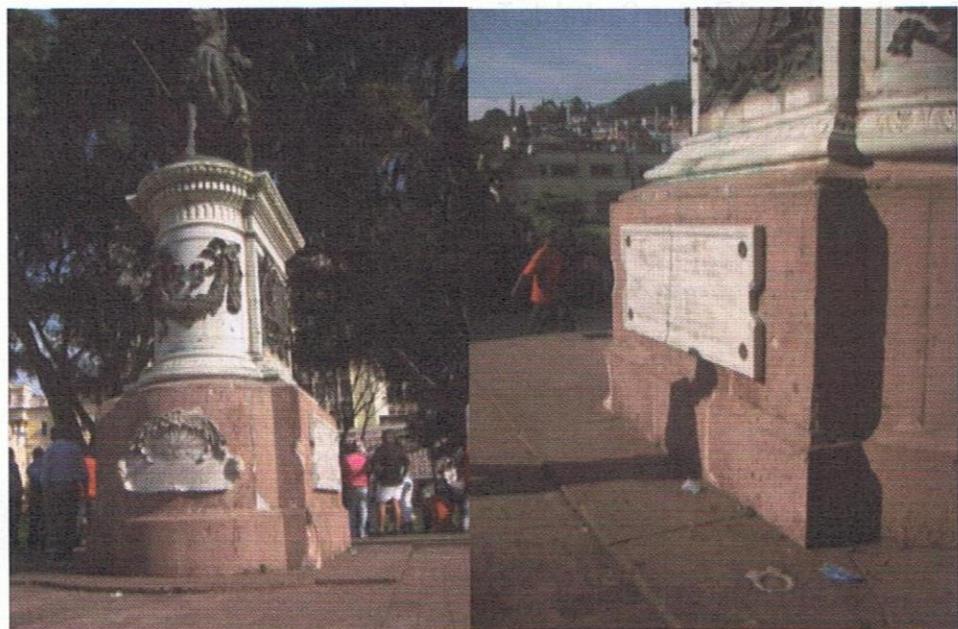


Figura 13- Estatua de Francisco Morazán, detalle del banco de nivelación A-10

## Algunos ejemplos de kilómetros ceros



Figura 14.-Prototipos de Km-0 de otras ciudades

El diseño realizado para el KM 0 de nuestra red es el que a continuación se expone. Se implantará en el Parque Central de Tegucigalpa.

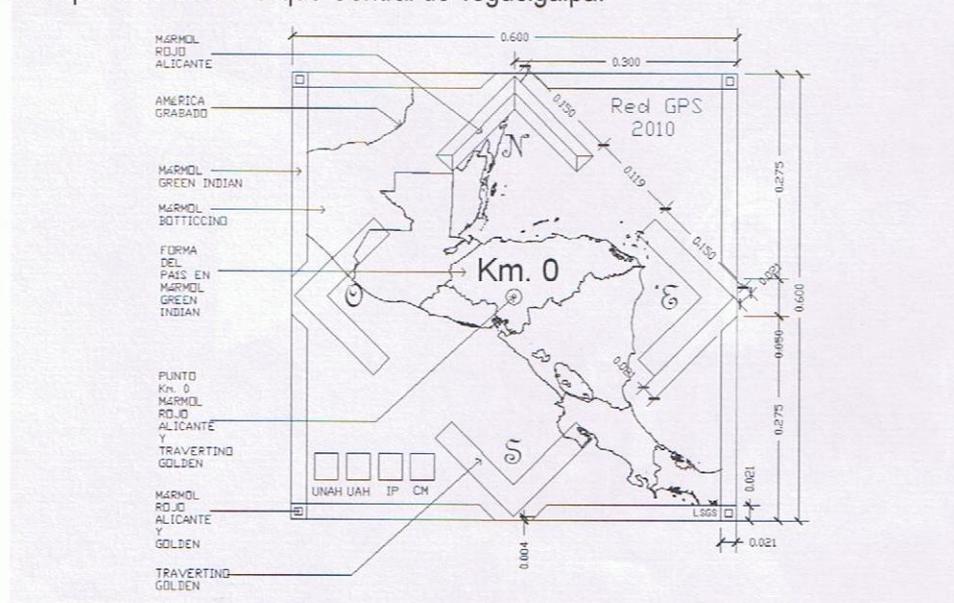


Figura 15.- KM 0 de red GPS de Tegucigalpa. Diseño: Lilliam Sofía Gómez

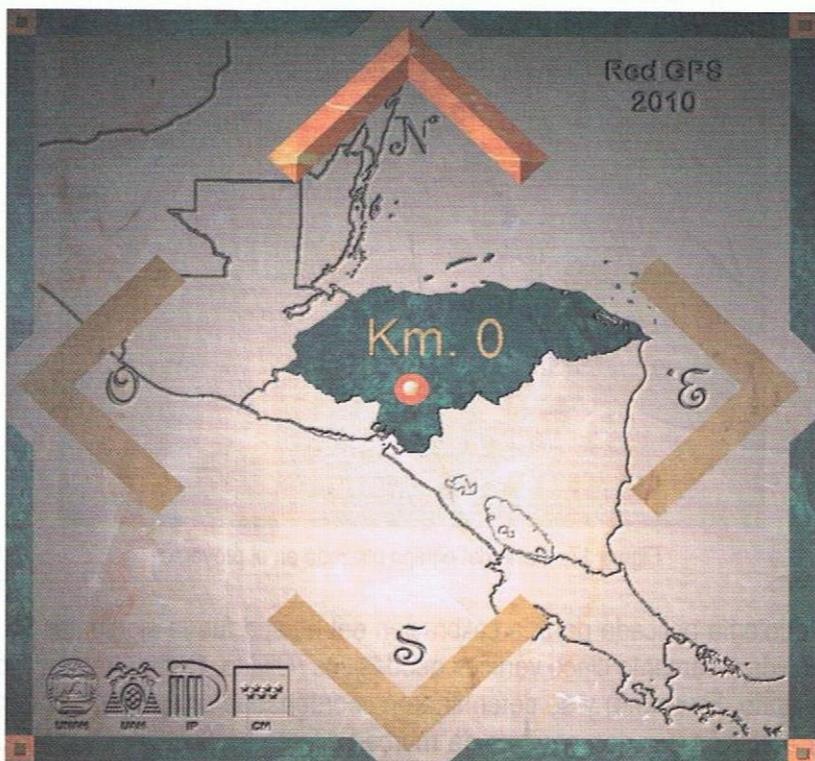


Figura 16.- KM 0 de red GPS de Tegucigalpa, diseño final. Diseño: Lilliam Sofía Gómez

## 2.5 Calibración del equipo

Antes de proceder a la etapa de la observación se procedió a la calibración de los instrumentos que se utilizaron, con el fin de que la medición cumpliera con los requisitos generales de precisión y exactitud.

El equipo destinado para realizar las mediciones fue adquirido por el Instituto de la Propiedad de Honduras en el año 2000. Desde esa época no se había realizado ningún tipo de verificación y ajuste para conservar las relaciones geométricas, electrónicas y recepción de señal entre los diversos componentes y las condiciones de operación durante el periodo de medición.

El equipo calibrado para la medición planimétrica está compuesto por seis receptores de doble frecuencia, colectoras de datos, antenas, trípodes, baterías y cargadores, todos de la marca **TRIMBLE 5700**.

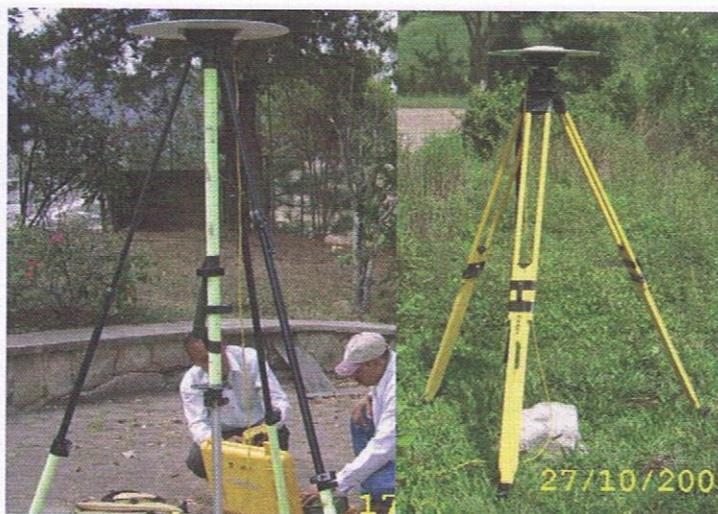


Figura 17.- Parte del equipo utilizado en el proyecto

La metodología aplicada para la calibración del equipo fue la siguiente: Se escogieron cuidadosamente cinco vértices geodésicos (Olvido, Cerro Grande, Picacho, Observatorio, Empalme) y se determinaron coordenadas en las mismas condiciones de medición por dos equipos de marcas diferentes (LEICA Y TRIMBLE). El producto de ambas mediciones fue comparado entre sí y el resultado obtenido estuvo dentro de la tolerancia, por lo que se concluyó que el equipo estaba en óptimas condiciones para medir. De igual forma, estos datos fueron comparados con los anteriormente obtenidos en otras campañas de medición de las estaciones de Olvido y Observatorio. Además, se verificaron y rotaron las diferentes antenas de los diferentes receptores GPS.

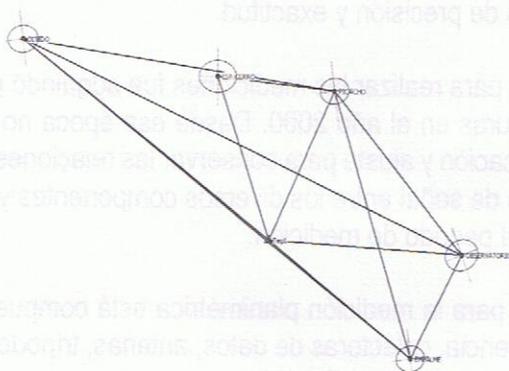


Figura 18.- Red geodésica de calibración y elipses de error

## 2.6 Observaciones de campo

La programación proyectada continuó ajustándose a las sesiones de observación, esto tras resolver determinadas incidencias. Por esta razón, hay dos grupos de días de observación:

El primero se corresponde con los días 194 (13-07-2010), 195, 204 y 207 (26-07-2010) y sirvieron para determinar las coordenadas del punto fundamental de la red TEG1 (apartado 2.5).

El segundo ciclo de observaciones es el que cubre la mayor parte de la red. La duración de cada sesión es de cinco horas, pero los registros en TEG1 son de veinticuatro horas. La tabla siguiente muestra el resumen de observaciones y en ella se aprecian la ocupación repetida de los diversos vértices, las líneas base medidas reiteradamente y aquellos vértices que se han repetido para enlazar unas sesiones con otras.

## 2.7 Procesamiento de las mediciones

Se han procesado las sesiones aisladamente, al igual que se hizo para determinar las coordenadas de punto fundamental TEG1 a fin de proceder posteriormente al ajuste de la red. El programa empleado ha sido TTC (Trimble Total Control). Se ha fijado para el cálculo una máscara de elevación de  $10^\circ$  y un intervalo de épocas libre para adaptarse al del registro original de los datos. A modo de verificación, se procesaron las cuatro primeras sesiones en base a las efemérides transmitidas y, también, con efemérides precisas, resultando innecesaria esta segunda precaución dado que la longitud de las líneas-base es pequeña: entre cinco y diez kilómetros de promedio.

## Conclusiones

Es importante reforzar y reformular la red de monitoreo actual, aumentando o densificando la acción con monitores automáticos, en combinación con varios pasivos que refuercen y cotejen la información que levantan diariamente las estaciones automáticas.

## Bibliografía

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Instituto de la Propiedad y Dirección General de Catastro y Geografía de Honduras (2010) *Establecimiento de una red geodésica en Tegucigalpa (Honduras) mediante tecnologías GPS y enlace con las redes de referencia oficial de Centroamérica*. Universidad de Alcalá, Madrid, España.